

## Beschreibung

Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage und dafür geeignete Gasturbinenanlage

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1 sowie auf eine dafür geeignete Gasturbinenanlage gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 5.

Aufgrund intensiver Entwicklungsarbeiten in den letzten Jahren lassen sich mit Gasturbinen heute Wirkungsgrade, d.h. die erzeugbare elektrische oder mechanische Leistung im Verhältnis zu den eingesetzten Brennstoffen, von ca. 40 % erzielen. Gas- und Dampfturbinenanlagen (GuD-Anlagen), wie sie z.B. aus der EP 0898 641 A1 bekannt sind, ermöglichen darüber hinaus Wirkungsgrade von über 55%. Trotzdem besteht ein Bedarf, den Wirkungsgrad solcher Anlagen weiter zu erhöhen.

Dies gilt insbesondere für in der Vergangenheit errichtete Gasturbinenanlagen ohne Dampferzeugung sowie GuD-Anlagen, die in kleinen, mittleren und großen Leistungsbereichen errichtet wurden. Teilweise werden bzw. wurden solche GuD-Anlagen zur Verbesserung der Brennstoffausnutzung mit Fernwärmeauskoppelung versehen. Trotzdem weisen diese älteren Anlagen wesentlich geringere Wirkungsgrade auf als moderne Gasturbinenanlagen. Aufgrund enormen Kostendruckes sind deshalb insbesondere die Betreiber von Altanlagen mit geringen Wirkungsgraden dazu gezwungen, die Wirtschaftlichkeit ihrer Anlagen zu verbessern.

Die Betreiber von Gasturbinenanlagen ohne Dampferzeugung erweitern deshalb teilweise ihren Prozess bzw. ihre Anlage um einen Dampferzeugungsanteil. Durch die hierdurch mögliche zusätzliche Erzeugung von elektrischer oder mechanischer Energie erreichen sie eine bessere Ausnutzung der eingesetzten Brennstoffe und damit eine Verbesserung des Wirkungsgrades

der Anlage. Es ist allerdings für die Betreiber solcher Anlagen wünschenswert, den Wirkungsgrad ihrer Gasturbinenanlagen noch weiter zu verbessern. Insbesondere sollte eine solche Wirkungsgraderhöhung auch bei bestehenden Gasturbinenanlagen bzw. GuD-Anlagen realisiert werden können.

Es ist deshalb Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage sowie eine dafür geeignete Gasturbinenanlage anzugeben, die eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Anlage ermöglichen, wobei die Erhöhung des Wirkungsgrades bei bereits bestehenden Anlagen mit geringem Aufwand, insbesondere ohne große Eingriffe in die bereits bestehende Anlage, möglich sein soll.

Die Lösung der auf das Verfahren gerichteten Aufgabe gelingt durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 6. Die Lösung der auf die Gasturbinenanlage gerichteten Aufgabe gelingt durch eine Gasturbinenanlage gemäß Patentanspruch 7. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Gasturbinenanlage sind Gegenstand der Unteransprüche 8 bis 17.

Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, dass viele Gasturbinen oder GuD-Anlagen Abgase (z.B. Rauchgase) mit Temperaturen von über 100°C aufweisen. Dies bedeutet, dass diese Anlagen in den Abgasen enthaltene, noch verwertbare Restwärme nicht nutzen. Dies hat hohe Abgaswärmeverluste und damit hohe Betriebskosten zur Folge. Insbesondere viele GuD-Anlagen werden mit Abgastemperaturen von 120 °C bis 150 °C betrieben, da niedrigere Abgastemperaturen nur mit einem hohen Aufwand realisiert werden können.

Eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Gasturbinenanlage ist somit dadurch möglich, dass zumindest ein Teil der Wärme der Abgase einer Gasturbine noch weiter genutzt wird. Dies ist dadurch möglich, dass die Wärme der Abgase an ein zumindest zwei Stoffe mit nicht isothermer Verdampfung und Konden-

sation aufweisendes Arbeitsmittel eines thermodynamischen Kreisprozesses übertragen wird. Mit Hilfe eines solchen Kreisprozesses kann bei hohem Wirkungsgrad unter Absenkung der Abgastemperatur auf bis zu 50 bis 70 °C mechanische oder elektrische Leistung erzeugt werden, die zur Verbesserung des Wirkungsgrades der Gasturbinenanlage beiträgt und somit die Wirtschaftlichkeit der Anlage verbessert.

Eine erfindungsgemäße Turbinenanlage weist deshalb zumindest einen einer Gasturbine abgasseitig nachgeschalteten Wärmetauscher auf, der in eine Vorrichtung zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses geschaltet ist, wobei die Vorrichtung ein Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation aufweist.

Zur Verbesserung des Wirkungsgrades bei bestehenden Anlagen muss somit nur der zumindest eine nachgeschaltete Wärmetauscher und die Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses nachgerüstet werden. Dies kann bei bestehenden Gasturbinenanlagen z.B. im Rahmen einer Erweiterung zu einer GuD-Anlage erfolgen. Auch bei bestehenden Gasturbinenanlagen in Kombination mit Dampferzeugung (d.h. Nachverbrennung der Gasturbinenabgase in einem Dampferzeuger) und bei GuD-Anlagen mit Rauchgastemperaturen größer 100 °C kann die Restwärme der Abgase durch eine einfache Nachrüstung der Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses zur Erzeugung elektrischer oder mechanischer Leistung genutzt werden. Bei gleicher Brennstoffmenge ist somit eine höhere elektrische oder mechanische Leistung und damit ein höherer Wirkungsgrad der Gasturbinenanlage möglich. Weiterhin führt dies zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes je erzeugter Kilowattstunde elektrischer Energie.

Bei Gasturbinenanlagen in Kombination mit Dampferzeugung sowie bei GuD-Anlagen ist die Wirkungsgraderhöhung ohne Eingriff in die Hauptanlage möglich, da lediglich abgasseitig, d.h. im Abgasstrang der Gasturbinenanlage, der zumindest eine

zusätzliche Wärmetauscher installiert werden muss. Die Nachrüstung des zumindest einen Wärmetauschers sowie der Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses ist daher im Rahmen einer Revision der Hauptanlage mit geringem Aufwand möglich.

Durch die Verwendung eines Arbeitsmittels mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation kann zum einen über die Konzentration der zumindest zwei Stoffe und zum anderen durch geringfügige Anpassungen des Druckes und der Temperatur des Arbeitsmittels der thermodynamische Kreisprozess auf einfache Weise an verschiedene Gasturbinenanlagen mit unterschiedlichen Abgastemperaturen angepasst werden.

Die Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses ist deshalb bevorzugt als standardisierte Einheit ausgebildet, die für die Verwendung in unterschiedlichsten Gasturbinenanlagen geeignet ist und somit kostengünstig gestaltet werden kann.

Ein hoher Wirkungsgrad und gleichzeitig eine einfache Anpassbarkeit des Prozesses bzw. der Vorrichtung zur Ausführung des Prozesses an unterschiedliche Abgastemperaturen kann dadurch ermöglicht werden, dass als thermodynamischer Kreisprozess ein Kalina-Kreislauf verwendet wird, der z.B. aus dem Aufsatz von Köhler, S. und Saadat, A. "Möglichkeiten und Perspektiven der geothermischen Stromerzeugung" in Geothermische Technologieentwicklung - geologische und energietechnische Ansatzpunkte; GeoForschungszentrum Potsdam, STR00/23, 2000, pp. 7 - 28 bekannt ist. Dieser Kreislauf verwendet als Arbeitsmittel ein Zweistoffgemisch z.B. aus Ammoniak und Wasser, wobei das Wasser als Lösungsmittel dient.

Gemäß einer insbesondere für Abgastemperaturen von 140°C bis 200°C geeigneten Ausgestaltung der Erfindung wird der thermo-

## 5

dynamische Kreisprozess mit einem Verfahren ausgeführt, das zumindest die folgenden Schritte aufweist:

- Pumpen eines flüssigen Stromes des Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck;
- Aufteilen des druckbeaufschlagten, flüssigen Arbeitsmittelstromes in einen ersten Teilstrom und einen zweiten Teilstrom;
- teilweises Verdampfen des ersten Teilstroms unter Verwendung von Wärme, die durch Abkühlung der Abgase erzeugt wird;
- teilweises Verdampfen des zweiten Teilstroms unter Verwendung von Wärme, die durch teilweise Kondensation eines entspannten Arbeitsmittelstromes erzeugt wird;
- Vereinigen des teilweise verdampften ersten und zweiten Teilstroms zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom;
- Erzeugen eines gasförmigen Arbeitsmittelstromes durch vollständiges Verdampfen, ggfs. teilweises Überhitzen, des teilweise verdampften Arbeitsmittelstromes unter Verwendung von Wärme, die aus der Abkühlung der Abgase erzeugt wird;
- Entspannen des gasförmigen Arbeitsmittelstromes, Umwandeln seiner Energie in eine nutzbare Form und Erzeugen des entspannten Arbeitsmittelstromes; und
- Kondensation des teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes zur Bildung des flüssigen Arbeitsmittelstromes.

Der Wirkungsgrad der Vorrichtung und damit der Gasturbinenanlage kann hierbei noch dadurch verbessert werden, dass der erste Teilstrom und der flüssige Arbeitsmittelstrom im Wesentlichen die gleiche Temperatur aufweisen und somit eine bestmögliche Ausnutzung der Wärme der Abgase zur Stromerzeugung ermöglichen.

Ein hoher Wirkungsgrad des thermodynamischen Kreisprozesses, d.h. eine gute Umwandlung der in den Abgasen enthaltenen Wärme in elektrische oder mechanische Leistung ist insbesondere

dann möglich, wenn die Abgase der Gasturbine an dem zumindest einen Wärmetauscher eine Temperatur von 100 bis 200°C, insbesondere 140 bis 200°C, aufweisen.

Die Erfindung, sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gemäß Merkmalen der Unteransprüche, werden im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels in den Figuren näher erläutert; darin zeigen

FIG 1 eine schematische Darstellung einer GuD-Anlage mit einem abgasseitig nachgeschalteten Wärmetauscher zur Wärmeübertragung an eine Vorrichtung zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation in schematischer Darstellung,

FIG 2 eine vereinfachte Schaltung einer vorteilhaften Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses,

FIG 3 ein Beispiel für eine Ausbildung der Vorrichtung zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses als standardisierte Einheit.

Die Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Gas- und Dampfturbinenanlage 1 mit einer Gasturbine 2 und einen von heißen Abgasen AG der Gasturbine 2 durchströmten Abhitzekessel 3. Die Gasturbine wird mit einem offenen Gasturbinenprozeß betrieben.

In einem Abluftkamin 6 der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 sind zwei Wärmetauscher HE4, HE5 zur Übertragung von zumindest einem Teil der Wärme der Abgase AG an eine vereinfacht dargestellte Vorrichtung 9 zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses mit einem Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensati-

on. Bei dem thermodynamischen Kreisprozess handelt es sich z.B um einen Kalinakreislauf.

Abgasseitig sind der Gasturbine und den Wärmetauschern HE4 und HE5 drei Wärmetauscher 5a, 5b, 5c des Wasser/Dampf-kreislaufes 4 der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 zwischengeschaltet. Die Wärmetauscher 5a, 5b, 5c sind in dem Abhitze-kessel 3 angeordnet und übertragen einen Teil der Wärme der Abgase AG an den Wasser/Dampfkreislauf 4.

Mit Hilfe der Vorrichtung 9 kann die in den Abgasen AG enthaltene Restwärme zur zusätzlichen Stromerzeugung genutzt werden und somit der Wirkungsgrad der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 vergrößert werden. Die durch die Nachschaltung der Vorrichtung 9 verursachten Druckverluste in den Abgasen AG, die zu Leistungsverlusten in der Gasturbine 2 führen, können mehr als kompensiert werden durch die Leistungsgewinne durch die Vorrichtung 9.

Eine besonders gute Wärmeübertragung von den Abgasen AG an das Arbeitsmittel der Vorrichtung 9 ist dann möglich, wenn die Wärmetauscher HE4, HE5 als Rohrbündelwärmetauscher ausgebildet sind.

Die Anordnung der Wärmetauscher HE4 und HE5 in dem Abluftkamin 6 ermöglicht es, diese Wärmetauscher und die daran angeschlossene Vorrichtung 9 ohne Eingriffe in die Hauptanlage, d.h. die Gasturbine 2 samt zugehöriger Komponenten und den Wasserdampfkreislauf 4, nachzurüsten. Die Temperatur der Abgase vor dem Wärmetauscher HE5 beträgt bevorzugt 100 bis 200 °C, insbesondere 140 bis 200 °C. Durch die Abkühlung der Abgase AG durch die Wärmetauscher HE5 und HE4 wird die Temperatur der Abgase beispielsweise auf 50 bis 70 °C nach dem Wärmetauscher HE 4 abgesenkt.

Die Figur 2 zeigt eine besonders für Abgastemperaturen von 140°C bis 200°C geeignete Schaltung der Vorrichtung 9 zur

Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses gemäß Figur 1.

Die Vorrichtung 9 weist einen Wärmetauscher HE5 auf, der primärseitig von den Abgasen (Rauchgasen) AG einer Gasturbine durchströmt wird und sekundärseitig zum einen mit einem Mischer 35 und zum anderen mit einer Turbine 32 verbunden ist. Die Turbine 32 ist ausgangsseitig mit der Sekundärseite eines Wärmetauschers HE2 verbunden, welcher wiederum mit der Primärseite eines Wärmetauschers (Kondensators) HE1 verbunden ist. Der Kondensator HE1 ist an seinem primärseitigen Ausgang, ggfs. über einen Kondensattank, über eine Pumpe 33 mit einem Teiler 34 verbunden. Der Teiler 34 ist zum einen über die Primärseite des Wärmetauschers HE2 und zum anderen über die Sekundärseite eines Wärmetauschers HE4 mit dem Mischer 35 verbunden. Die Abgase AG durchströmen zuerst die Primärseite des Wärmetauschers HE5 und danach die Primärseite des Wärmetauschers HE4.

Als Arbeitsmittel wird in der Vorrichtung 9 ein Zweistoff-Gemisch aus Wasser und Ammoniak verwendet. Das Arbeitsmittel liegt nach dem Kondensator HE1 in einem flüssigen Zustand als flüssiger Arbeitsmittelstrom 13 vor. Mit Hilfe der Pumpe 33 wird der flüssige Arbeitsmittelstrom 13 auf einen erhöhten Druck gepumpt und ein druckbeaufschlagter, flüssiger Arbeitsmittelstrom 14 erzeugt, der durch den Teiler 34 in einen ersten Teilstrom 16 und einen zweiten Teilstrom 17 aufgeteilt wird.

Der erste Teilstrom 16 wird sekundärseitig von dem Wärmetauscher HE4 aufgenommen und unter Verwendung von Wärme, die durch Abkühlung der bereits in dem Wärmetauscher HE5 abgekühlten Abgase AG erzeugt wird, teilweise verdampft und ein teilweise verdampfter erster Teilstrom 16a erzeugt. Der zweite Teilstrom 17 wird primärseitig von dem Wärmetauscher HE2 aufgenommen und unter Verwendung von Wärme, die durch teilweise Kondensation eines sekundärseitig aufgenommenen ent-



spannten Arbeitsmittelstromes 11 erzeugt wird, teilweise verdampft und ein teilweise verdampfter zweiter Teilstrom 17a erzeugt. Die teilweise verdampften ersten und zweiten Teilströme 16a, 17a werden anschließend in dem Mischer 35 zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom 18 vereinigt. Die Wärmetauscher HE2 und HE4 sind hierbei vorteilhafterweise so dimensioniert, dass der erste und der zweite teilweise verdampfte Teilstrom 16a bzw. 17a in etwa gleiche Temperatur und gleichen Dampfgehalt aufweisen.

Der teilweise verdampfte Arbeitsmittelstrom 18 wird anschließend sekundärseitig von dem Wärmetauscher HE5 aufgenommen und durch Abkühlung der primärseitigen Abgase AG ein vollständig verdampfter, gegebenenfalls teilweise überhitzter, gasförmiger Arbeitsmittelstrom 10 erzeugt. Der gasförmige Arbeitsmittelstrom 10 wird anschließend in der Turbine 32 entspannt, seine Energie in eine nutzbare Form, z.B. über einen nicht dargestellten Generator in Strom, umgewandelt und der entspannte Arbeitsmittelstrom 11 erzeugt. Der entspannte Arbeitsmittelstrom 11 wird in dem Wärmetauscher HE2 teilkondensiert und ein teilkondensierter, entspannter Arbeitsmittelstrom 12 erzeugt. Der teilkondensierte, entspannte Arbeitsmittelstrom 12 wird anschließend in dem Wärmetauscher (Kondensator) HE1 mit Hilfe eines zulaufenden Kühlwasserstromes 25 kondensiert und der flüssige Arbeitsmittelstrom 13 erzeugt. Die durch die Kondensation des entspannten Arbeitsmittelstrom 12 an den Kühlwasserstrom 25 übertragene Wärme wird durch den ablaufenden Kühlwasserstrom 26 abgeführt.

Der druckbeaufschlagte, flüssige Teilstrom 14 kann über einen weiteren, nicht dargestellten Wärmetauscher durch weitere, teilweise Kondensation des bereits in dem Wärmetauscher HE2 teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes 12 vorerwärmt werden.

Eine besonders gute Ausnutzung der Wärme der Abgase und somit ein besonders hoher Wirkungsgrad des Kreislaufes ist aller-

dings dadurch erzielbar, dass auf diese Vorerwärmung verzichtet wird und somit der erste Teilstrom 16 im wesentlichen die gleiche Temperatur wie der flüssige Arbeitsmittelstrom 13 aufweist.

Die Vorrichtung 9 ist hierbei, wie beispielhaft und vereinfacht in FIG3 dargestellt, bevorzugt als standardisierte Einheit 40 ausgebildet. Die standardisierte Einheit 40 umfasst dabei zum einen ein Kreislaufmodul 41, welches sämtliche Komponenten des Kreislaufes mit Ausnahme der Wärmetauscher HE4 und HE5 enthält. Zu diesen Komponenten zählen der Wärmetauscher (Kondensator) HE1, der Wärmetauscher HE2, die Turbine 32, die Pumpe 33, ein mit der Turbine verbundenen Generator und weitere, für die Steuerung, Regelung und Überwachung des Kreislaufes notwendige Einrichtungen.

Die Wärmetauscher HE4 und HE5 sind in einem Wärmetauschermodul 42 angeordnet, welches z.B. in einem Abluftkamin einer Gasturbinenanlage eingebaut werden kann.

Das Kreislaufmodul 41 weist Rohrleitungs-Anschlusspaare 43 und 44 für den Anschluss von Verbindungsrohren zu entsprechenden Rohrleitungs-Anschlusspaaren 43' und 44' an dem Wärmetauschermodul 42 auf. Weiterhin weist das Kreislaufmodul 41 Rohrleitungs-Anschlüsse 45 für die Zuführung und Abführung von Kühlwasser zu bzw. von dem Wärmetauscher (Kondensator) HE1 auf. Mittels der elektrischen Anschlüsse 46 kann der Abgriff des durch das Kreislaufmodul 41 erzeugten Stromes erfolgen. Die elektrischen Anschlüsse 47 dienen der Zuführung von Strom für die Stromversorgung der Einrichtungen zur Steuerung, Regelung, Überwachung des Kreislaufmoduls sowie zur Stromversorgung der Pumpe 3. Eine solche externe Stromversorgung wird zumindest solange benötigt, bis der Stromeigenbedarf durch das Kreislaufmodul 41 selbst gedeckt werden kann. Alternativ kann der Eigenbedarf statt durch eine externe Stromversorgung auch dadurch gedeckt werden, dass das Kreislaufmodul 41 eine Batterie aufweist. Über ein Bedienelement

51 kann die Konzentration der Bestandteile des Arbeitsmittels und über Bedienelemente 52 und 53 kann die Temperatur bzw. der Druck des Arbeitsmittels im Kreislauf eingestellt werden.

Das Kreislaufmodul 41 weist bevorzugt Containerformat auf, insbesondere 20'- oder 40'- Containerformat, und kann somit per LKW, Bahn oder Schiff schnell und einfach zu seinem Einsatzort gebracht werden, so dass eine Nachrüstung der Vorrichtung 9 zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses bei einer bestehenden GuD-Anlage mit geringem zeitlichem und finanziellem Aufwand durchgeführt werden kann.

Die Erfindung wurde vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben, kann generell aber nicht als auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt angesehen werden. Es besteht vielmehr die Möglichkeit einer Vielzahl von Variationen und Modifikationen der Erfindung bzw. dieser Ausführungsbeispiele. Zum Beispiel kann in der Vorrichtung 9 zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses die Anzahl der Wärmetauscher erhöht werden, es können zusätzliche Ventile und Separatoren in die Schaltung geschaltet werden. Weiterhin kann z.B. der gasförmige Arbeitsmittelstrom 10 in mehr als einem Schritt, z.B. über zwei hintereinander geschaltete Turbinen, entspannt werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Gasturbinenanlage (1), wobei zumindest ein Teil der Wärme der Abgase (AG) einer Gasturbine (2) an ein zumindest zwei Stoffe mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation aufweisendes Arbeitsmittel eines thermodynamischen Kreisprozesses übertragen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei als thermodynamischer Kreisprozess ein Kalina-Kreislauf verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2, wobei der thermodynamische Kreisprozess mit einem Verfahren ausgeführt wird, das zumindest die folgenden Schritte aufweist:

- Pumpen eines flüssigen Stromes (13) des Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck;
- Aufteilen des druckbeaufschlagten, flüssigen Arbeitsmittelstromes (14) in einen ersten Teilstrom (16) und einen zweiten Teilstrom (17);
- teilweises Verdampfen des ersten Teilstroms (16) unter Verwendung von Wärme, die durch Abkühlung der Abgase (AG) erzeugt wird;
- teilweises Verdampfen des zweiten Teilstroms (17) unter Verwendung von Wärme, die durch teilweise Kondensation eines entspannten Arbeitsmittelstromes (11) erzeugt wird;
- Vereinigen des teilweise verdampften ersten und zweiten Teilstroms (16a bzw. 16b) zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom (18);
- Erzeugen eines gasförmigen Arbeitsmittelstromes (10) durch vollständiges Verdampfen, ggfs. teilweises Überhitzen, des teilweise verdampften Arbeitsmittelstromes (18) unter Verwendung von Wärme, die aus der Abkühlung der Abgase (AG) erzeugt wird,

## 13

- Entspannen des gasförmigen Arbeitsmittelstromes (10), Umwandeln seiner Energie in eine nutzbare Form und Erzeugen des entspannten Arbeitsmittelstromes (11); und
- Vollständige Kondensation des teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes (12) zur Bildung des flüssigen Arbeitsmittelstromes (13).

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der erste Teilstrom (16) und der flüssige Arbeitsmittelstrom (13) im wesentlichen die gleiche Temperatur aufweisen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein weiterer Teil der Wärme der Abgase (AG) der Gasturbine (2) an einen Wasser-Dampf-Kreislauf (4) einer Dampfturbine übertragen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abgase (AG) der Gasturbine (2) vor dem zumindest einen Wärmetauscher (HE5) eine Temperatur von 100 bis 200°C, insbesondere 140 bis 200°C, aufweisen.
7. Gasturbinenanlage (1) mit zumindest einem einer Gasturbine (2) abgasseitig nachgeschalteten Wärmetauscher (HE5), der in eine Vorrichtung (9) zur Ausführung eines thermodynamischen Kreisprozesses geschaltet ist, wobei die Vorrichtung (9) ein Arbeitsmittel mit zumindest zwei Stoffen mit nicht isothermer Verdampfung und Kondensation aufweist.
8. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 7 wobei der thermodynamische Kreisprozeß ein Kalina-Kreislauf ist.
9. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 7 und/oder 8, wobei die Vorrichtung (9) zumindest umfasst:
  - eine Pumpe (33) zum Pumpen eines flüssigen Stromes (13) des Arbeitsmittels auf einen erhöhten Druck;

- einen Teiler (34) zum Aufteilen des druckbeaufschlagten flüssigen Arbeitsmittelstromes (14) in einen ersten Teilstrom (16) und einen zweiten Teilstrom (17),;
- einen ersten Wärmetauscher (HE 4) zur Aufnahme des ersten Teilstromes (16) und zur Erzeugung und Abgabe eines teilweise verdampften ersten Teilstroms (16a) durch Abkühlung der Abgase (AG);
- einen zweiten Wärmetauscher (HE 2) zur Aufnahme eines entspannten Arbeitsmittelstromes (11) und des zweiten Teilstroms (17), zur Abkühlung des entspannten Arbeitsmittelstromes (11) durch Wärmeübertragung zu dem zweiten Teilstrom (17) und zur Abgabe eines teilweise verdampften zweiten Teilstroms (17a) und eines teilweise kondensierten Arbeitsmittelstromes (12);
- einen Mischer (35) zum Vereinigen des teilweise verdampften ersten Teilstromes (16a) und des teilweise verdampften zweiten Teilstromes (17a) zu einem teilweise verdampften Arbeitsmittelstrom (18);
- einen dritten Wärmetauscher (HE5) zur Aufnahme des teilweise verdampften Arbeitsmittelstromes (18) und zur Erzeugung und Abgabe eines gasförmigen, ggfs. überhitzten, Arbeitsmittelstromes (10) durch Abkühlung der Abgase (AG),
- eine Einrichtung (32), insbesondere eine Turbine, zum Entspannen des gasförmigen Arbeitsmittelstromes (10), zum Umwandeln seiner Energie in eine nutzbare Form und zur Abgabe des entspannten Arbeitsmittelstromes (11); und
- einen vierten Wärmetauscher (Kondensator) (HE 1) zur Aufnahme und vollständigen Kondensation des teilweise kondensierten, entspannten Arbeitsmittelstromes (12) und zur Abgabe des flüssigen Arbeitsmittelstromes (13).

#### 10. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 9

wobei der erste Teilstrom (16) und der flüssige Arbeitsmittelstrom (13) im wesentlichen die gleiche Temperatur aufweisen.

#### 11. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 10,

## 15

wobei die Abgase (AG) der Gasturbine (2) vor dem zumindest einen Wärmetauscher (HE5) eine Temperatur von 100 bis 200°C, insbesondere 140 bis 200°C, aufweisen.

12. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 11, mit zumindest einem abgasseitig der Gasturbine (2) und dem zumindest einen Wärmetauscher (HE5) zwischengeschalteten weiteren Wärmetauscher (5a, 5b, 5c) eines Wasser-Dampf-Kreislaufes (4) einer Dampfturbine.

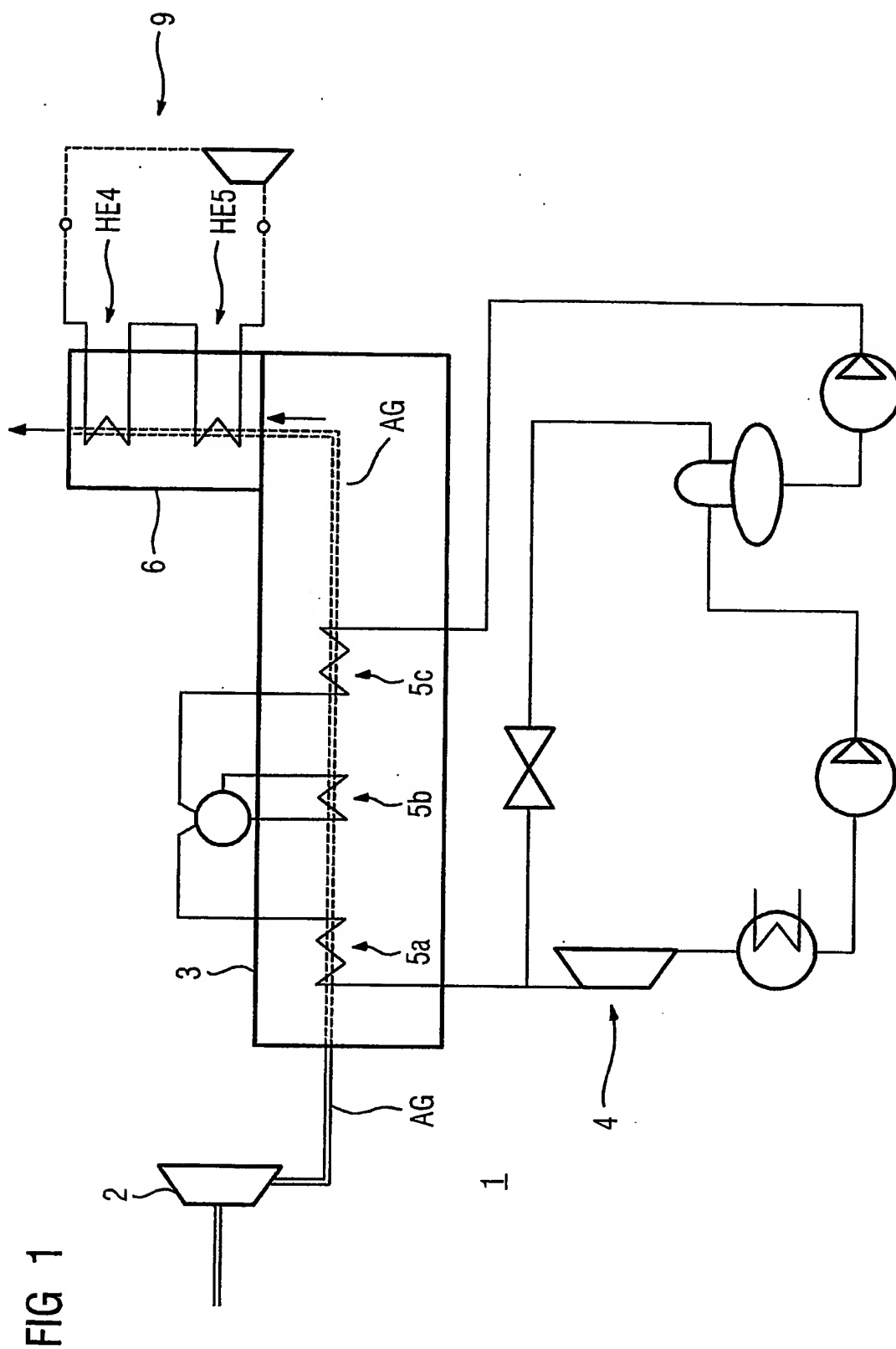
13. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 12, wobei der zumindest eine Wärmetauscher (HE 5) in einem Abluftkamin (6) der Gasturbinenanlage (1) angeordnet ist.

14. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 13, wobei der zumindest eine Wärmetauscher (HE5) als Rohrbündelwärmetauscher ausgebildet ist.

15. Gasturbinenanlage (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 14, wobei die Vorrichtung (9) zur Ausführung des thermodynamischen Kreisprozesses als standardisierte Einheit (40) ausgebildet ist.

16. Gasturbinenanlage (1) nach Anspruch 15, wobei die standardisierte Einheit (40) ein Wärmetauschermodul (42) und ein Kreislaufmodul (41) aufweist.

17. Gasturbinenanlage nach Anspruch 15 und/oder 16 wobei das Kreislaufmodul (42) Containerformat, insbesondere 20'- oder 40'- Containerformat, aufweist.





2 / 3

FIG 2

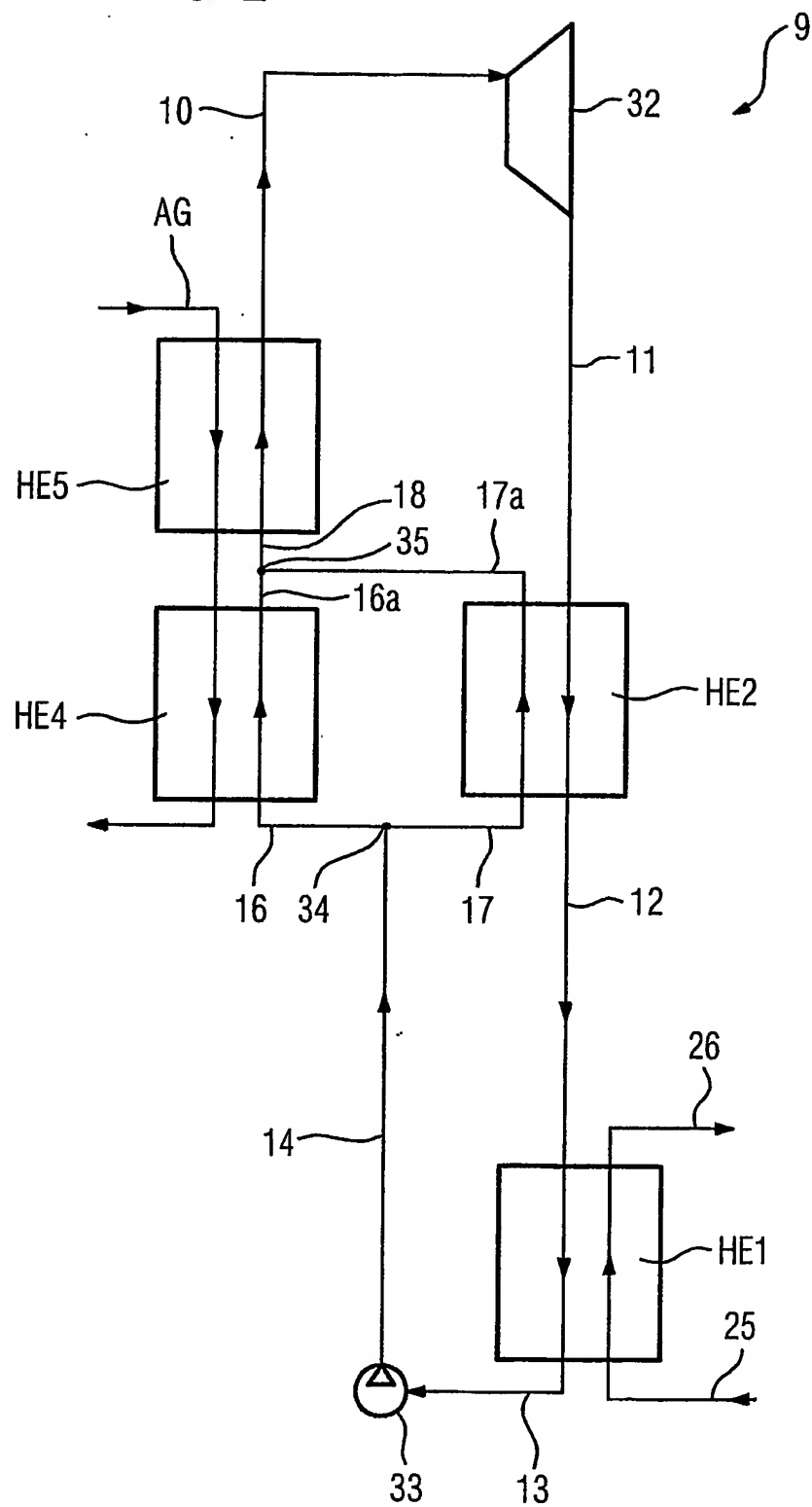


FIG 3

